

碘 · 核辐射 · 课程建议

文_张 伟 左京平

◎ 核电站泄漏一般会释放出哪些放射性物质？这些物质是通过什么传播的？对人体的危害体现在哪些方面？

核电站发生事故时，反应堆内产生的混合产物（核裂变产物）可能会向周边地区释放出放射性物质。对健康具有风险的主要放射性核素为放射性碘和放射性铯。如果防护不当，放射性碘和放射性铯可通过呼吸、饮食、皮肤和伤口进入机体。救援人员以及核电站工作人员因为所从事的专业性活动并且直接处在核电站内部的放射性物质环境，就可能会接触到更高剂量的辐射。前苏联的切尔诺贝利核电站事故共向环境释放 $1 \times 10^{18} \sim 2 \times 10^{18}$ 贝可勒尔的放射性物质，造成事故后期周边地区的儿童和青少年甲状腺癌发病率明显增高。

了解放射性核素对健康的影响前，先要了解几个基本概念。放射性活度是表示放射性核素特征的物理量。它的定义为单位时间内处于特定能态的一定量的放射性核素发生核跃迁数的期望值。贝可勒尔（Becquerel, Bq）是放射性活度的国际单位，放射性核素每秒有一个原子发生衰变时，其放射性活度即为 1Bq。实际工作中经常用到放射性比活度，它表示单位质量或体积某种物质的放射性活度。

在放射性碘核素中，主要的是碘-131 ~ 碘-135，尤其以碘-131 最为重要。例如前苏联的切尔诺贝利核电站事故后第二天，释放到环境中的碘-131 的活度量占 80%。放射性碘-131 是 19 世纪 30 年代后期由 Glenn T. Seaborg 和 John Livingood 在加州大学伯克利分校发现的。碘-131 是 β 、 γ 辐射源，物理半衰期约为 8 天，放射性比活度为 $4.62 \times 10^9 \text{Bq}/\mu\text{g}$ ，每次发生衰变，发射 1 个 β 粒子并伴随微弱的 γ 辐射。碘-131 衰变后成为稳定性氙-131。碘易溶于酒精和水，单质碘及许多碘化物在常温下有升华的特性。碘具有典型的非金属性质，

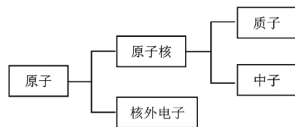
1. 什么是碘-131？涉及的概念：元素、同位素、核素、质量数。

(1) 元素：具有相同核电荷数（即质子数）的同一类原子的总称；

(2) 同位素：质子数相同而中子数不同的同元素的不同原子称为同位素。

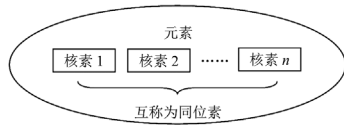
(3) 核素：具有一定数目的质子和一定数目的中子的一种原子。

了解这几个概念的前提是了解原子的构成：原子是保持物质化学性质的一种微观粒子。构成原子的三种基本粒子是质子、中子和电子，其中原子核是由质子和中子构成的。



原子的质量主要集中在原子核上：质量数 = 质子数 + 中子数。我们所说的碘-131 是质量数为 131 的一种碘原子，这种碘原子也就是一种核素。同一种元素的质子数是相同的，碘的质子数是 53，也就是说，碘-131 的原子核中有 53 个质子和 78 个中子，其符号表示为 $^{131}_{53}\text{I}$ （或 ^{131}I ）。预防核辐射的药物中所含稳定碘也是碘的一种同位素—— ^{127}I （即原子核中质子数为 53，中子数为 74 的一种碘的核素）。核裂变所需的原料也是一些元素的放射性核素，如 ^{235}U 等。

一种元素往往含有多种互为同位素的原子，元素、核素、同位素之间的关系如下图：



教学中建议可拓展同位素的应用：如放射性同位素电池、同位素示踪法在生命科学、医学、工业等方面的广泛应用……

2. 食盐中碘的存在形式?

(1) 加碘食盐中往往添加含碘元素的无机盐,如碘酸钾(KIO_3)或碘化钾(KI),由于 KI 具有浓苦味,易潮解,在常温下久置易被氧化成碘单质,须避光保存等缺点,故食盐中常添加 KIO_3 。

KIO_3 的性质:一种白色晶体,受热分解,具有氧化性。

KI 的性质:具有还原性,易被氧化(防辐射药物“碘片”的主要成分)。

(2) 设计实验:食盐中含碘成分的测定

根据食盐中加入的碘酸钾的氧化性,设计实验原理



实验所依据的原理是氧化还原反应,是中学重要的基本概念之一。通过实验设计,可以使学生对氧化还原反应获得感性认识,并且通过动手实践,锻炼学生实验设计和操作的能力。实验中还可以通过对 CCl_4 的回收树立学生环保意识。

化学性质较活泼,是一种氧化还原剂,易与许多元素发生反应,生成碘化物和一系列含氧酸及其盐类。

放射性碘极易经胃肠道、呼吸道、完整皮肤及伤口吸收,且吸收速度快、吸收率高。口服碘化物后,几乎全胃肠道都能吸收,但主要在小肠。放射性碘能迅速而完全地通过肠壁进入淋巴管及血管内。1小时内可吸收食入量的75%~85%,经过3小时即可全部吸收入血。气态碘和碘气溶胶吸入后1小时吸收率可达80%,第3天时吸收率近100%。放射性碘化物的溶液或碘蒸气,可经黏膜和完整的皮肤吸收。伤口对碘核素比皮肤、黏膜的吸收率高。进入血液中的放射性碘,约70%存在于血浆中,30%在血液有形成分中,但它能很快地由血液转移到体内各组织器官中,呈高度不均匀分布,选择性地浓集于甲状腺。按其浓度计,甲状腺组织中浓集的碘为血液中的几百倍至几千倍。相应地在其他组织器官中只有很少量的放射性碘存在。放射性碘可经肾脏、肠道、肺、皮肤、唾液腺、乳腺及汗腺排除。其中以尿排除为主。甲状腺内碘的生物半排期(指机体不再有摄入的情况下,物质的量减少一半所需时间)为120天。均匀分布于甲状腺以外的其他器官和组织中的有机碘的生物半排期为12天。进入体内的放射性碘主要滞留在甲状腺组织中,因而它对机体的危害主要表现为甲状腺的辐射损伤,例如甲状腺功能低下、甲状腺炎,甚至诱发甲状腺癌。

放射性铯是核裂变产物的重要组成部分之一,也是核电站事故的信号核素之一。放射性铯-137是19世纪30年代后期由Glenn T. Seaborg和他的同事Margaret Melhase发现的。铯-137是 β 辐射源,物理半衰期约为30年,放射性比活度为 $3.2 \times 10^6 \text{Bq}/\mu\text{g}$,大约94%的衰变释放1个 β 粒子,变为激发态的钡-137m,其半衰期仅为2.55分钟,释放1个 γ 射线,最终产物为稳定性的钡-137。放射性铯的化学性质与钾相似,可和非金属作用,生成1价的化合物。其生成的盐类如卤化物、硝酸盐、碳酸盐和硫酸盐都易溶于水,只有磷酸盐的溶解度较小。人体内的放射性铯来自外环境。切尔诺贝利核电站事故向外环境释放出大量放射性物质,经接受人体内放射性监测人员的数据表明,在食入照射中放射性铯要占88%以上。放射性铯经呼吸道、胃肠道等途径进入机体,都极易被吸收,而且吸收迅速。铯-137由胃肠道进入时,吸收率几乎为100%,吸收部位主要是小肠。放射性铯进入机体后的分布与钾类似,表现为全身性、相对均匀分布。主要滞留于全身软组织尤其是肌肉中,这些组织受到 β 粒子和 γ 辐射,

会增加患癌症的风险。放射性铯不论以何种途径摄入体内，主要通过肾由尿排除，肠道排除量很少。放射性铯排除速率很快，在摄入后早期尤其以最初两昼夜排除最多，以后逐渐下降。

◎ 核电站泄漏的放射性物质对人的危害程度与哪些因素有关？

核电站泄漏的放射性物质对人的危害程度与遭受的辐射剂量直接相关。当辐射剂量超过一定的阈值时，就可能带来直接影响，比如皮肤红斑、脱发、辐射烧伤以及急性放射病（ARS）。急性放射病是全身受到的辐射剂量超过 1 希沃特（Sv）时可能出现的一组症状和体征。这与产生血细胞的骨髓受到损伤有关。当发生核电站事故时，普通人群不太可能接触到造成此类后果的高剂量辐射。救援人员以及核电站工作人员更有可能接触到高剂量的辐射，造成急性影响。

辐射暴露可增加罹患癌症的风险。在日本原子弹爆炸幸存者中，发生辐射暴露几年之后才使白血病的风险出现上升，而罹患其他癌症的风险则在暴露后的十多年才有所上升。出现突发核事故时，可以释放出放射性碘。如果吸入或者食入，放射性碘将沉积在甲状腺并会增加罹患甲状腺癌的风险。对于受到放射性碘暴露的人员，可通过服用碘化钾药片使罹患甲状腺癌的风险得以降低，服用碘化钾有助于防止对放射性碘的吸收。出现放射性碘摄入后，儿童和年轻人罹患甲状腺癌的风险更高。

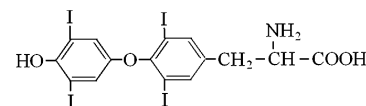
对于低于多少剂量可以认为对健康没有影响的问题，流行病学统计研究表明，当剂量低于 100 毫希沃特（=0.1 希沃特）时，不能引起明显的组织损伤，导致癌症的风险也没有增加。然而，电离辐射的线性无阈模型是辐射防护的基础。这就意味着，理论上任何剂量的电离辐射均可导致一定的生物学效应，但是这种效应还无法在人类身上进行验证。因此，我们无法说哪个剂量水平就是绝对的零风险。在电离辐射防护中应尽可能遵循防护水平最优化原则（ALARA 原则），即尽量避免一切不必要的照射。

◎ 碘能够预防核辐射对人体产生的危害吗？如果是，那原理是什么？

核事故发生后，事故周边地区人员有可能摄入放射性碘，放射性碘摄入后主要沉积在甲状腺内，导致甲状腺

3. 食盐中为什么加碘？

碘是人体必需的微量元素之一，是合成甲状腺素的重要原料。甲状腺素（四碘甲状腺原氨酸）的分子结构：



可以结合其分子结构和学生所学有机化学的知识，进行官能团性质的教学。



在地震和海啸中受损的福岛核电站

图 / DigitalGlobe

4. 什么样的能源是绿色能源？

目前我国能源以不可再生的化石燃料为主，解决办法是开源节流，即开发新的能源和节约现有能源，提高能源利用率。化学能转化为热能或者电能也是研究课题之一，如氢燃料电池的使用就是把 H_2 和 O_2 反应产生的能量直接转化为电能……

这部分知识属于常识性介绍，可以就能源的分类和利用、能量的转化形式等问题进行讨论，其中主要涉及高中所学电化学、氧化还原、化学反应中的能量变化等知识。

（左京平，北京市东城区教师研修中心，化学教研员）

受到照射，此时服用稳定性碘可减少甲状腺吸收放射性碘，可以降低罹患甲状腺癌的风险。保护甲状腺的机理是基于甲状腺的生理学特点，碘是人体必需的微量元素，正常生理情况下甲状腺内的碘是不饱和的，要避免甲状腺吸收放射性碘，就需要先用稳定性碘使其饱和。为达到饱和的效果，对成年人推荐的稳定性碘的服用量为 100 毫克，3 ~ 12 岁的儿童服用量为 50 毫克，1 个月 ~ 3 岁儿童服用能量为 25 毫克，新生儿 ~ 1 个月婴儿服用量为 12.5 毫克。如果在放射性碘吸入前 6 小时服用，阻断放射性碘沉积到甲状腺的效果可达 100%；在吸入放射性碘的同时服用稳定性碘，就能阻断 90% 的放射性碘在甲状腺内的沉积；在吸入放射性碘 6 小时内服用稳定性碘，仍可使甲状腺吸收放射性碘的量降低一半左右。

◎ 如果需要，有哪些补充碘的有效方法？

为达到核事故发生后减少甲状腺吸收放射性碘的目的，最有效的方法就是服用稳定性碘。像通过食入碘盐、喝碘酒达到使甲状腺碘饱和等方法都是不科学的，并且会导致危害健康甚至生命的情况发生。

◎ 碘片对所有人都适用吗？碘片的服用对于核辐射可能导致的其他类型癌症有预防作用吗？

稳定性碘片除了起到阻止放射性碘在甲状腺沉积的作用之外，并不能防止外照射，也不能阻止其他放射性物质带来的危害。服用稳定性碘片有诸多副作用，也有一些禁忌证，如甲状腺功能低下或肾功能不良者可能引起医学并发症。

◎ 如果空气中除了放射性碘以外还有其他放射性物质存在，人们有其他的有效预防方式吗？

核事故中如果发生放射性物质泄漏到空气中，为防止公众受到放射照射，通常采取紧急防护措施（单独或联合的措施），如隐蔽于室内并关闭门窗和通风系统，撤离到空气未受到放射性物质污染的地区，服用稳定性碘（阻止放射性碘沉积到甲状腺），以及限制食用可能受到污染的食品（因空气中的放射性物质会逐渐沉降到地面，污染水源、蔬菜等）。除针对放射性碘可服用稳定性碘外，避免其他放射性物质进入人体的有效预防方式就是防止吸入、食入和皮肤沾染放射性物质。（张伟 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所，研究员）